

Lane

Aus dem Institut für Tierärztliche Nahrungsmittelkunde
der Justus Liebig - Hochschule zu Gießen
Direktor: Prof. Dr. H. Keller

Temperaturmessungen an Brüh- und Kochwürsten

LANE MEDICAL LIBRARY
SAN FRANCISCO

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Veterinär-Medizinischen Fakultät
der Justus Liebig-Hochschule zu Gießen

vorgelegt von
Alfred M e m m e l
Tierarzt aus Kiel

Gießen 1954

Aus dem Institut für Tierärztliche Nahrungsmittelkunde
der Justus Liebig-Hochschule zu Gießen
Direktor: Professor Dr. H. Keller

Temperaturmessungen
an
Brüh- und Kochwürsten

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades
der
Veterinär-Medizinischen Fakultät
der
Justus-Liebig-Hochschule zu Gießen

vorgelegt von
Alfred Memmel
Tierarzt aus Kiel

Gießen 1954

Mit Genehmigung der Veterinär-Medizinischen Fakultät
der Justus Liebig-Hochschule zu Gießen

Dekan: Professor Dr. H. K e l l e r

Berichterstatter: Professor Dr. H. K e l l e r

Tag der mündlichen Prüfung: 29. Mai 1954

Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit
gewidmet

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
I. Einleitung	1
II. Schrifttum	2
III. Eigene Untersuchungen	
Versuchsanordnung	5
Vorversuche	10
Hauptversuche	15
Auswertung der Ergebnisse	22
Anwendungsbeispiele	25
Folgerungen	31
IV. Zusammenfassung	32
V. Schlußbemerkungen	33
VI. Literatur	34

I. Einleitung

Bei der Lebensmittelverarbeitung und -aufbewahrung spielen Temperatureinwirkungen eine wichtige Rolle. Das gilt besonders für Fleisch, Fleischwaren und andere tierische Nahrungsmittel, weil diese häufig Mikro-Organismen enthalten, die auf dem Wege der Wärme- oder Kältebehandlung unschädlich gemacht werden können, wodurch eine Konservierung ermöglicht wird. Bei den Kälteverfahren kennen wir nicht nur solche, die zur Haltbarmachung dienen, sondern beim Fleisch auch Verfahren, die gesundheitsschädliche, auch für Menschen pathogene Parasiten, wie Finnen in Schlachttieren, beseitigen sollen. Ebenso dient die Wärmebehandlung nicht nur zur Konservierung, sondern auch zur Abtötung krankmachender schädlicher Organismen. Erinnert sei an das Tauglichmachen bedingt tauglichen Fleisches, an die besonders gegen Tuberkelbakterien gerichtete Pasteurisierung der Milch sowie die längere Kochzeit bei Enteneiern zur Vernichtung der möglicherweise enthaltenen Salmonellen.

Bei der Herstellung von Wurstwaren treten mehrere Bakterienarten auf, die verschiedene Fäulniserscheinungen hervorrufen können und nur durch eine geeignete Wärmebehandlung, die auch das Wurstgut im Inneren genügend erhitzt, mit Sicherheit vernichtet werden. Das Gleiche gilt für Krankheitserreger, die im Fleisch enthalten sein oder beim Verarbeitungsprozeß erst in die Wurstmasse hineingelangen können, wie Lebensmittelvergifter und Tuberkelbakterien.

Die Wärmebehandlung bei Wurstwaren interessiert auch noch aus einem anderen Grunde. Es ist denkbar, daß bei ungenügender Wärmezufuhr im Inneren das Eiweiß gar nicht völlig zur Gerinnung kommt und die Wurst somit nicht gar gekocht bzw. gebrüht wird, was zu wirtschaftlichen Verlusten führen kann.

Um nun festzustellen, wie lange Brüh- und Kochwürste, also Würste, deren Wärmebehandlung in heißem oder kochendem Wasser vor sich geht, erhitzt werden müssen, um im Kern eine genügend hohe Temperatur zu erhalten, stellte Herr Professor Dr. Keller die Aufgabe, im Rahmen einer Dissertation an diesen Würsten Innentemperaturmessungen vorzunehmen, um den Temperaturverlauf festzustellen.

II. S c h r i f t t u m

Der Temperaturverlauf im Inneren von Lebensmitteln ist in der Literatur schon mehrfach behandelt worden, sowohl beim Erwärmungs-, als auch beim Abkühlvorgang. R i e v e l (9) berichtet über den Verlauf des Wärmeganges in Fleischkonserven während der fabriküblichen Sterilisierung in Autoklaven, den er erstmalig in systematischen Untersuchungen festgestellt hat. Zum Messen der Temperaturen in den Konservendosen werden Thermoelemente benutzt. R i e v e l findet bei diesen Messungen Unterschiede in der Leitfähigkeit, und zwar dauert die Wärmeaufnahme von Leberwurst am längsten; Blutwurst erwärmt sich etwas besser, noch besser Schweinefleisch im eigenen Saft. Am günstigsten verläuft die Temperaturleitung bei ausgelassenem Schweineschmalz, die noch besser ist als die von Rindfleisch im eigenen Saft.

R i e v e l veröffentlicht bei den verschiedenen Konservenarten den zeitlichen Temperaturverlauf im Kern in Form von Diagrammen, und zwar gibt er dabei lineare Funktionen an. Außerdem untersucht R i e v e l die Wirkung verschiedener Autoklaventypen auf die Erwärmungszeit des Doseninhalts und stellt Untersuchungen über die Abkürzung der Kochzeiten für Fleischkonserven (11) an, indem er die Innentemperatur von Konserven mißt, die während des Sterilisierungsvorganges in rotationsförmige Bewegung versetzt werden, wobei die Umspülung des Konserveninhalts mit dem freiwerdenden Fleischwasser und -fett eine Verkürzung der Anlaufzeit (das ist die Zeit, während der die Konserven bis zum Erreichen der Sterilisierungstemperatur erwärmt werden) bis auf die Hälfte ermöglicht.

R i e v e l (10) hat auch Untersuchungen über den Einfluß eines holländischen Pasteurisierungsverfahrens auf Enteneier angestellt und dabei während des 47 Minuten dauernden Erhitzungsvorganges auf $60,2^{\circ}\text{C}$ die Temperatur im Mittelpunkt mittels eines Kupfer-Konstantan-Thermoelementes gemessen und dabei festgestellt, daß eine Verlängerung der Erhitzungszeit auf eine Stunde erforderlich wäre, um das Verfahren hygienisch einwandfrei zu machen.

M e ß m e t h o d e n, die zur Temperaturmessung im Inneren von festen Körpern dienen können, werden in der Literatur verschiedentlich angegeben.

R i e v e l (10) verwendet T h e r m o e l e m e n t e, die er in die zu messende Versuchsmasse einführt. Nach L i e n e w e g (7) ist von allen Thermometern das Thermoelement das anpassungsfähigste, da man ihm gewöhn-

lich die Form geben kann, die dem Anwendungsfall am besten entspricht. Aus diesem Grund wird es in der Technik und im Laboratorium am meisten angewandt.

Ein Nachteil der Thermoelemente ist die verhältnismäßig große Ungenauigkeit gegenüber anderen Meßmethoden, die bei der Messung hoher Temperatur, wozu Thermoelemente gewöhnlich verwendet werden, normalerweise keine Rolle spielt. Bei der Messung von Temperaturen zwischen 0° und 100° C, wo es auf $0,5^{\circ}$ C Genauigkeit ankommen kann, können Meßtoleranzen von 7° C, wie sie sich für Eisen-Konstantan-Thermoelemente aus dem Normblatt DIN 43710 errechnen lassen, störend wirken. Wenn man dann noch den im Anzeigegerät auftretenden Fehler dazu zählt, kann man schon erhebliche Abweichungen erhalten.

L i n d o r f (8) schreibt, daß sich mit W i d e r s t a n d s - t h e r m o m e t e r n die höchste Genauigkeit im Vergleich zu allen anderen Temperaturmeßverfahren erreichen läßt, wobei bei sorgfältigst durchgeführten Präzisionsmessungen im Laboratorium im Temperaturbereich zwischen 0 und 500° C eine Genauigkeit von $0,1^{\circ}$ C erreicht werden kann. Bei technischen Messungen sind die Toleranzen natürlich größer. Wenn man hier auch den Fehler im Anzeigegerät berücksichtigt, sind sie trotzdem noch bedeutend geringer als die der Thermoelemente.

B e r e c h n u n g e n über den Temperaturverlauf im Inneren des Fleisches beim Abkühlen hat T a m m (13) angestellt. Er untersucht dabei den Abkühlungsvorgang einer Fleischkugel und verwendet die von F o u r i e r entwickelte Theorie der Wärmeleitung in festen Körpern bei abklingender Temperaturverteilung. Dabei geht er von einer Wärmeleitzahl aus, die mit $0,43 \frac{\text{kcal}}{\text{m h}^{\circ}\text{C}}$ fast doppelt so groß ist, als 1906 von R u b n e r (12) angegeben wurde. Auch berichtet T a m m über Versuche an Fleischkeulen, um Verhältniszahlen zu finden, die angeben, um ein Wievielfaches die Abkühlungszeit einer Tierkeule gegenüber einer Fleischkugel von gleichem Durchmesser ist. Als wesentlicher Faktor bei diesen Untersuchungen ist die Verdunstungskälte anzusehen, die bei den eigenen Messungen nicht in Betracht kommt, da diese Versuche im Wasser vorgenommen wurden.

M a t h e m a t i s c h e F o r m e l n, die es ermöglichen, den Temperaturverlauf in festen Körpern zu ermitteln, sind in der physikalischen und mathematischen Literatur zu finden. Die Berechnung der stetigen Erwärmung führt selbst bei einfachster Gestalt dieser Körper auf Lösungen, die sich nur durch unendliche Reihen exakt darstellen lassen, wobei verschiedene konstante Werte der zu messenden Versuchsmasse bekannt sein müssen; das sind die Wärmeleitzahl, die Wärmeübergangszahl, die spezifische Wärme und das spezifische Gewicht. Erst wenn diese Werte ermittelt sind, kann man mit den angegebenen

Formeln arbeiten, wie sie sich bei Gr ö b e r (5), bei B a c h m a n n (1) und bei B e r g e r (3) finden. B a e h r (2) hat eine leicht zu handhabende Näherungsformel für den Wärmedurchgang in Zylindern (das entspricht der Form der Würste) veröffentlicht, die ebenfalls für den Erwärmungsvorgang zutrifft, jedoch nur im letzten Teil der Abkühlungs- bzw. Erwärmungszeit genaue Ergebnisse bringt.

III. Eigene Untersuchungen

Versuchsanordnung

Wegen der relativ hohen Ansprüche an die Meßgenauigkeit fanden bei den eigenen Messungen als Meßorgane Widerstandsthermometer Anwendung. Diese Meßmethode beruht darauf, daß sich der elektrische Widerstand bestimmter Metalle mit der Temperatur ändert, und zwar vergrößert er sich mit steigender Temperatur. Der Widerstand eines Metalldrahtes kann also als Maß für die Temperatur verwendet werden und wird mit einem Widerstandsmeßgerät, das nach $^{\circ}\text{C}$ geeicht ist, gemessen.

Bei den eigenen Messungen diente als Anzeigegerät ein T-Spulg galvanometer der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG), eine Abart des Kreuzspulgalvanometers, mit gespreiztem Meßbereich und Meßstellenwähler für sechs Widerstandsthermometer. Es würde an dieser Stelle zu weit führen, die Wirkungsweise dieses Instrumentes näher zu erklären. In den Veröffentlichungen von Knoblauch (6), Lieneweg (7) und Lindorf (8) ist darüber Näheres angegeben. Hier möge genügen, wenn erwähnt wird, daß das Galvanometer in Brücken-T-Spulschaltung verwendet wurde. Das Schaltbild geht aus Abb. 1 hervor. Die Vorderansicht des fertiggestellten Anzeigegerätes zeigt Abb. 2, die Rückseite Abb. 3.

Als Widerstandsthermometer fanden Meßwiderstände der Fa. Degussa, Hanau, Verwendung, bei denen der Widerstand aus einer feinen Platinwicklung besteht, die bei 0°C einen Widerstand von 100 Ohm besitzt und in ein Spezialglas eingeschmolzen ist.

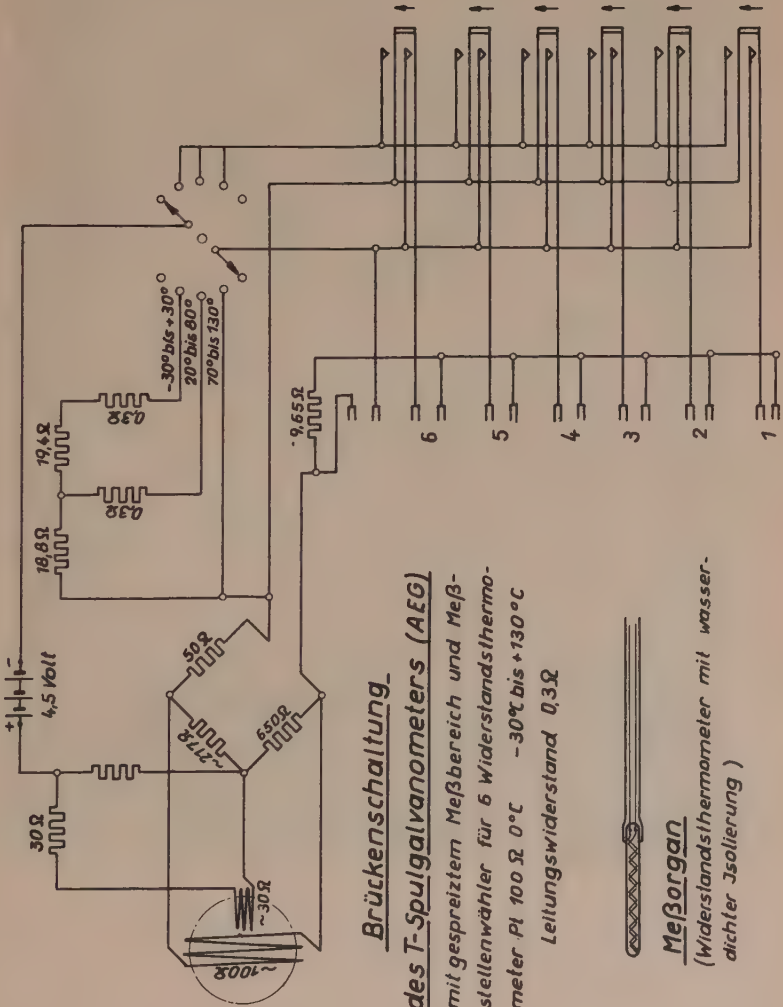
Der Durchmesser dieser Widerstandsthermometer beträgt 3 mm bei einer Länge von ca. 30 mm. Die Abmessungen sind also möglichst gering, um keine örtlichen Maßabweichungen aufkommen zu lassen. Bei den Messungen wurden jeweils mehrere Würste gleichzeitig gemessen. Es wurden nacheinander bis zu 6 Widerstandsthermometer, von denen eines die Brühwassertemperatur maß, mittels eines Umschalters auf das gleiche Anzeigegerät geschaltet.

Die Widerstandsthermometer wurden ohne Tauchhülsen, Schutzrohre oder ähnliche Armierungen verwendet, also nackt in die zu untersuchende Wurstmasse eingeführt, um eine Verzögerung der Temperaturanzeige zu vermeiden. Wäre das Thermometer von einer Metallhülse umgeben, so müßte sich diese vor dem Thermometer erwärmen, und die "Nacheilung" - das ist die Zeit, um die bei zeitabhängigen

Temperaturmessungen die Anzeige des Thermometers der wahren Temperatur nachhinkt würde vergrößert werden.

Die Verwendung der ungeschützten Widerstandsthermometer hatte selbstverständlich einen wirtschaftlichen Nachteil gegenüber den bedeutend billigeren Thermoelementen, da auf diese Weise einige der empfindlichen Glasstäbchen beschädigt und somit unbrauchbar wurden. Dieser Nachteil wurde jedoch der genaueren Meßergebnisse halber in Kauf genommen. Die Zuleitungen vom Meßgerät zu den Meßstellen bestanden aus Kupferleitungen von 3,5 m Länge und hatten einen Gesamtwiderstand von 0,3 Ohm. Dieser Widerstand war also sehr gering gegenüber dem Thermometerwiderstand von 100 Ohm (bei 0°), und somit konnten Temperaturschwankungen der Zuleitung vernachlässigt werden. Jede Kupferleitung bestand aus 3 m verhältnismäßig dicker, zweiadriger Kupferlitze und 0,5 m zweiadrigem, lackisoliertem Kupferdraht, welcher am Ende mit dem Widerstandsthermometer verlötet war. Der dünne Kupferdraht war von einem wasserundurchlässigen 3 mm dicken Isolierschlauch überzogen, der auch ca. 3 mm über das Widerstandsthermometer gestülpt war und die gesamte ins Brühwasser tauchende Zuleitung wasserdicht abschloß (siehe Abb. 1). Bei der Einführung der Thermometer mußte die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, daß infolge Wärmeleitung durch die Zuleitung vom Außenmedium an die Meßstelle an dieser eine unerwünschte Temperaturveränderung entstehen konnte, die umso größer wäre, je mehr sich die Wärmeleitfähigkeit der Untersuchungsmasse von der der Zuleitung unterscheidet. Die Wärmeleitfähigkeit von Kupfer ist bedeutend höher als die der Wurstmasse, eine Fehlermöglichkeit wäre also vorhanden. Bei den vorgenommenen Messungen wurde dieser Fehler dadurch nahezu vermieden, daß die Kupferleitung eine möglichst lange Strecke, also nicht radial, sondern achsial in der Wurst verlegt wurde und darüber hinaus die elektrische Isolierung auch einen guten Wärmeschutz darstellte.

Verhältnismäßig schwierig war die Fixierung der Meßwiderstände genau in der Wurstmitte, wo sie unbedingt liegen mußten. Im Laufe der Untersuchungen mußte die Befestigungsart mehrmals geändert werden, da sich beim Öffnen der Würste nach dem Brühen oder Kochen häufig zeigte, daß sich die Widerstandsthermometer nicht in der Wurstmitte befanden, wodurch die betreffenden Messungen unbrauchbar wurden.



Brückenschaltung
des T-Spülgalvanometers (AEG)
mit gespreiztem Meßbereich und Meß-
stellenwähler für 6 Widerstandsthermo-
meter pl. 100Ω 0°C -30°C bis $+130^\circ\text{C}$
Leitungswiderstand 0.3Ω



Meßorgan
(Widerstandsthermometer mit wasser-
dichter Isolierung)

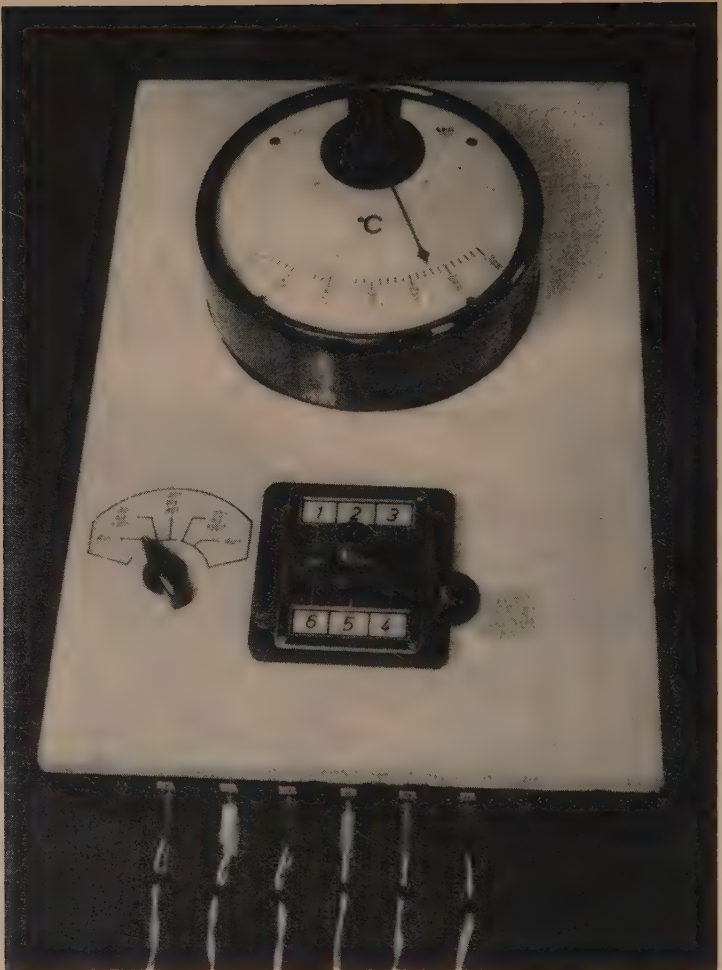


Abb. 2

Das verwendete T-Spul-Galvanometer mit den Anschlüssen für die 6 Widerstandsthermometer. (Ansicht von vorn.)

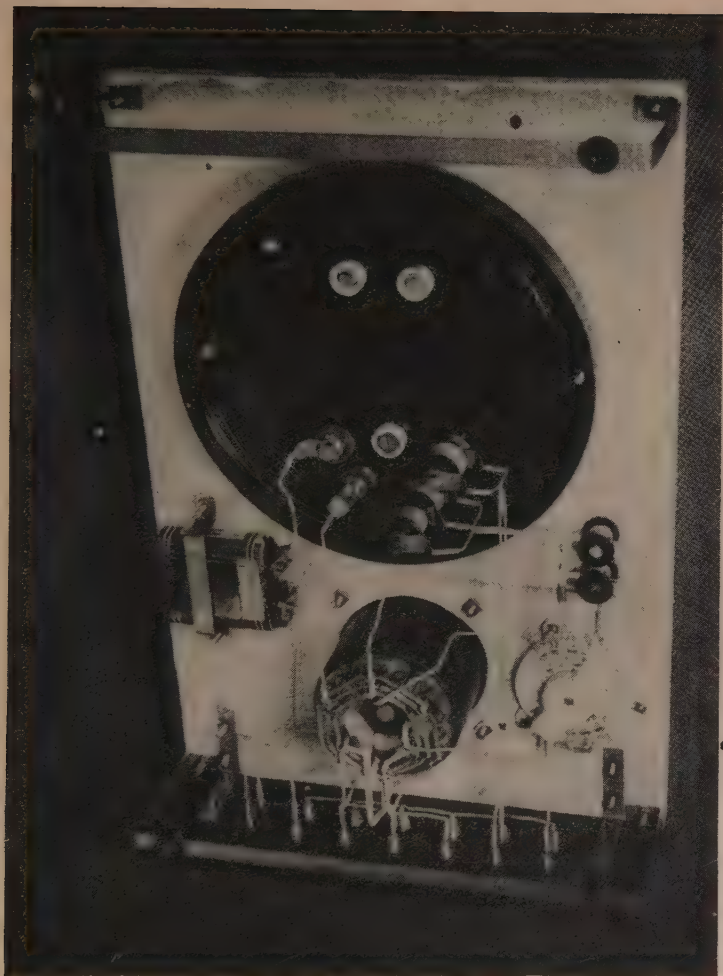


Abb. 3

Die Rückseite des T-Spul-Galvanometers

V o r v e r s u c h e

Um fehlerlose Messungen mit dem oben beschriebenen Gerät zu ermöglichen, wurden einige Vorversuche durchgeführt, die über die folgenden Punkte Auskunft geben sollten:

- 1.) Ob die Meßvorrichtung als solche zuverlässig war,
- 2.) wie eine einwandfreie Befestigung der Thermometer in der Wurstmasse möglich wäre,
- 3.) ob irgendwelche neuen Fehlerquellen bei der Messung in den Würsten auftraten.

Zunächst erfolgten Vergleichsmessungen mit geeichten Quecksilberthermometern, und zwar wurden alle sechs Widerstands- und zwei Quecksilberthermometer in eine wassergefüllte Thermosflasche gebracht. Bei diesen Versuchen traten keine ablesbaren Unterschiede auf. Es zeigte sich ferner, daß die elektrische Messung auf Temperaturänderungen erheblich rascher reagierte als die Quecksilberthermometer.

Die Anbringung der Widerstandsthermometer im Innern der Würste bereitete erhebliche Schwierigkeiten, da eine genaue zentrale Lage der Meßstelle über die gesamte Versuchsdauer gesichert sein mußte. Andernfalls würden infolge des Temperaturanstiegs nach außen schon bei einer radialen Verschiebung von wenigen Millimetern, welche in der anfangs noch weichen Wurstmasse sehr leicht eintreten kann, unzulässige Abweichungen eintreten.

Die einfachste Möglichkeit, den Meßwiderstand durch drei oder vier Haltestäbe radial gegen die Wursthaut abzustützen, konnte nicht in Betracht gezogen werden, weil durch diese Stäbe mit anderen Wärmeleiteigenschaften ebenfalls Wärme fließen würde, die im Innern andere Temperaturverhältnisse hervorrufen könnte, als es den praktischen Verhältnissen entspricht.

Weiterhin wurde erwogen, die Messung an bereits gekochten oder gebrühten Würsten durchzuführen, da die Wurstmasse dann schon eine gewisse Festigkeit besitzt. Wie einige Vergleichsversuche ergaben, erfolgt die Erwärmung bei ungekochter Wurstmasse unter gleichen Bedingungen langsamer. Die Ursache hierfür wird in einem bei der Eiweißgerinnung auftretenden Wärmeverbrauch vermutet. Da die vorliegende Arbeit sich jedoch mit dem Temperaturverlauf bei der Herstellung, also beim erstmaligen Brühen oder Kochen von Würsten befaßt, mußte auch diese Möglichkeit ausscheiden, da nur die der Praxis wirklich ent-

sprechenden Verhältnisse zu Grunde gelegt werden durften.

Es wurde nunmehr die Möglichkeit in Erwägung gezogen, die Thermometer ohne jede Fixierung in die Würste einzuführen, indem die Zuführungsdrähte durch die Wurstenden hindurchgeführt und mit diesen verknotet wurden. Eine Auswertung der Meßergebnisse sollte nur da vorgenommen werden, wo die Meßwiderstände tatsächlich in der Mitte verblieben waren, was nach Abschluß der Messungen leicht überprüft werden konnte. Eine statistische Ermittlung ergab jedoch, daß hierbei nur etwa 5 - 10 % der Messungen den erforderlichen Ansprüchen genügt hätten.

Wenn man berücksichtigt, daß ein Versuch im allgemeinen mindestens zwei Stunden erforderte und maximal nur fünf Messungen erlaubte (da als sechste Meßstelle die Brühwassertemperatur laufend kontrolliert wurde), so ist zu erkennen, daß auf dieser Grundlage die Messungen bei weitem zu kostspielig und zeitraubend geworden wären.

Eine erheblich größere Ausbeute an brauchbaren Meßergebnissen konnte durch die folgende Anordnung erzielt werden. Das Widerstandsthermometer wurde wiederum mit dem einen Wurstende durch seine Zuführungsleitung, jedoch auch mit dem anderen Ende durch einen dünnen Hanffaden, der einige Male um das Thermometer geschlungen war, verbunden. Diese Anordnung wurde vor dem Füllen der Wurst mit dem Darm einseitig verknotet. Nach dem Einspritzen der Wurstmasse konnte die Anordnung, bestehend aus Zuführungsleitung - Thermometer - Hanffaden, von der anderen Seite durch einfaches Anziehen gestreckt und unter geringer Spannung mit dem zweiten Wurstende verknüpft werden. Diese Spannung wird auch während des Brühvorganges aufrechterhalten oder noch verstärkt, da infolge von Wärmeausdehnungs- und Quellungsprozessen eine geringgradige Längszunahme der Würste eintritt, die auf die Meßanordnung an beiden Enden eine Zugkraft ausübt.

Diese Befestigungsart eignet sich gut für Messungen an Blut- und Leberwürsten, wo die Einfüllmasse verhältnismäßig dünnbreiig ist. Bei Fleischwürsten hingegen, bei denen das Brät erheblich zäher ist, waren die erforderlichen Spannkraften, die das Thermometer in die Mittelachse ziehen sollten, so hoch, daß wiederholt Beschädigungen an den empfindlichen und wertvollen Widerstandsthermometern auftraten.

Um endgültig einen brauchbaren Weg zu finden, der auch bei Brühwürsten zufriedenstellende Ergebnisse sicherte, mußten die Thermometer durch feste Stäbe in der Mittelachse gehalten werden. Es war naheliegend, für diese Aufgabe Stricknadeln zu verwenden, die jedoch wegen der sehr unterschiedlichen

Wärmeleitfähigkeit von Metallen gegenüber dem Wurstgut nicht in Frage kamen. Dagegen durfte Holz, welches bekanntlich einen schlechten Wärmeleiter darstellt, Verwendung finden, und zwar in Form von dünnen Wurstspeilern, an deren Mitte die Meßwiderstände mit Zwirn befestigt waren. Die Wurstspeile kamen nun genau so zu liegen, wie vorher die Kombination Zuleitung - Thermometer - Schnur und hatten dieser gegenüber den Vorteil der starren Verbindung. Diese Fixierungsmethode fand während der folgenden Versuche bei allen Wurstarten Anwendung und brachte ungefähr 50 % brauchbare Ergebnisse. Bei den anderen Messungen lagen die Thermometer nicht in der Mitte. Die Erklärung hierfür lag darin, daß jede Wurstmasse weich ist und bei der Herstellung der Würste geringgradige Verschiebungen der Wurstspeiler nicht vermieden werden konnten. Um nun feststellen zu können, ob irgendwelche neuen Fehlerquellen bei der Messung in den Würsten auftraten, mußten diese Versuche durch drei verschiedene andere Meßmethoden überprüft werden.

Als erstes wurden Vergleichsmessungen mit Widerstandsthermometern der Firma Heraeus, Hanau, die die gleichen Dimensionen wie die Degussa-Thermometer hatten, durchgeführt. Als Meßinstrument diente dabei ein Kreuzspulgalvanometer der Firma Hartmann & Braun, Frankfurt/M. Die Versuche wurden derart angestellt, daß bei drei Würsten von beiden Enden her Widerstandsthermometer eingeführt wurden, so daß sich an jeder Meßstelle Meßwiderstände beider Firmen befanden. Die Ablesung der Temperaturen erfolgte für beide Thermometer nahezu gleichzeitig. Bei diesen Messungen waren die Abweichungen geringgradig und betrugen höchstens $0,5^{\circ}\text{C}$.

Weiter wurden Kontrollmessungen mit Thermoelementen und einem AEG-Millivoltmeter ausgeführt. Hierbei unterschied sich die Versuchsanordnung von der soeben angegebenen nur insofern, als anstelle des Vergleichswiderstandsthermometers ein Eisen - Konstantan - Thermoelement trat. Es traten maximale Differenzen von $1,5^{\circ}\text{C}$ auf.

Die dritte Kontrolle erfolgte unter Verwendung von sog. Temperatursalzen der Firma E. Merck, Darmstadt. Das sind chemische kristalline Substanzen, die bei bestimmten Temperaturen schmelzen und dabei ihre Form irreversibel ändern, so daß die erreichte Schmelztemperatur auch im erkalteten Zustand noch festgestellt werden kann. Diese Schmelzkörper sind für Schmelztemperaturen von 40°C aufwärts im Abstand von 5 zu 5°C im Handel. Es wurden aus kleinsten Gummihäutchen Säckchen geformt, diese mit einigen Kristallen einer bestimmten Salzart gefüllt und wasserdicht derart abgebunden, daß die Säckchen alle an einem Faden hingen. Hierbei entstand eine etwa 60 mm lange Kette, die eine Schmelzkörperreihe von $40 - 100^{\circ}\text{C}$ enthält. Diese Ketten wurden zusammen mit den Wider-

standsthermometern in die Mittelachse verschiedener Würste gebracht. Wenn die Temperatur am Anzeigegerät einen vollen Zehnerwert überschritten hatte, wurde die betreffende Wurst dem Brühwasser entnommen und geöffnet. Dabei ergab sich, daß beispielsweise nach einer maximalen Anzeige des Gerätes von 62°C der 60° - Schmelzkörper schon geschmolzen, der 65° - Schmelzkörper dagegen noch kristallin war. Diese Kontrolle wurde bei acht verschiedenen Würsten durchgeführt. Hierbei fand bei allen Versuchen die elektrische Messung durch die Schmelzkörper-Methode ihre Bestätigung.

Durch diese vielseitigen und sorgfältig durchgeführten Vorversuche erwies sich die Messung mit Widerstandsthermometern als die geeignetste und sicherste. Sie wurde deshalb ausschließlich bei den sich anschließenden systematischen Untersuchungen angewandt.

Vor den eigentlichen Reihenversuchen an Würsten wurde versuchsweise der Wärmeanstieg im Innern einer Konservendose beim Kochen gemessen und zu diesem Zweck ein Meßwiderstand im Mittelpunkt einer Kochschinkendose befestigt. An der Durchtrittsstelle der Thermometerzuleitung war eine verschraubbare Werkstoffdichtung angebracht, welche die Öffnung wieder vollkommen wasser- und luftdicht abschloß. Die Temperaturverhältnisse, unter denen der Versuch vorgenommen wurde, sowie der Wärmeanstieg gehen aus nachfolgender Aufstellung hervor:

Kochschinkendose (Birnenform) :

Außenabmessungen:	Länge	=	270 mm			
	Breite	=	190 mm			
	Höhe	=	120 mm			
Zeit in Stunden:	0	0,5	1	2	3	4
Wassertemperatur $^{\circ}\text{C}$:	100	100	75	75	75	75
Dosentemperatur $^{\circ}\text{C}$:	9	10	16	36	50	58
Zeit in Stunden:	4,5	5	6	7	8	9
Wassertemperatur $^{\circ}\text{C}$:	75/10	10	10	10	10	10
Dosentemperatur $^{\circ}\text{C}$:	62	64	55	44	36	30

Am Schluß des Erwärmungsvorganges lag die Innentemperatur also noch um 13°C unter der Temperatur des Wasserbades und stieg nach dem Herausnehmen der Dose im kalten Wasser noch um 2°C an.

Dieser nachträgliche Wärmeanstieg wurde auch bei interessehalber angestellten Messungen im Mittelpunkt eines Aluminiumkastens festgestellt, welcher mit Brät, wie es zur Herstellung von Fleischsalat verwendet wird, gefüllt war und in einer Dampfkammer erhitzt wurde. Der Wärmeanstieg ist in der folgenden Übersicht angegeben:

Br ä t k a s t e n

Innenabmessungen: Länge = 750 mm
 Breite = 170 mm
 • Höhe = 125 mm

Zeit in Stunden :	0	1	2	3	4	5
Dampfkammertemperatur ° C :	70	70	70	70	70	70
Brättemperatur ° C :	20	33	45	54	63	65
Zeit in Stunden :	5,5	6	7	8	9	10
Lufttemperatur ° C :	15	15	15	15	15	15
Brättemperatur ° C :	66	64	51	47	40	35

Hauptversuche

Der größere Teil der Untersuchungen mußte darauf verwandt werden, durch die gründlichen und zahlreichen Vorversuche die Unterlagen für die eigentlichen, später auszuwertenden Messungen zu schaffen, weshalb auch der Beschreibung der Versuchsanordnung und den Voruntersuchungen ein so breiter Raum eingeräumt wurde. Somit war die Ausführung der systematischen Versuchsreihen zwar sehr zeitraubend, brachte aber keine technischen Schwierigkeiten mehr, die eine Änderung der Versuchsanordnung bedingt hätten.

Um die Systematik der Untersuchungen darzulegen, wird in den nachfolgenden Tabellen I bis IV der Teil der Meßergebnisse wiedergegeben, welcher direkt der Auswertung zugrunde gelegt wurde.

An Messungen von Würsten gleicher Wurstart mit gleichen Abmessungen und unter gleichen Versuchsbedingungen wurden geringfügige Streuungen im Temperaturanstieg beobachtet, die in der Größenordnung von etwa 5 % lagen und vermutlich auf die ungleichmäßige Beschaffenheit des Wurstgutes sowie auf geringgradiger Dimensionsabweichungen, wie sie sich unter praktischen Verhältnissen nicht vermeiden lassen, zurückzuführen sind. Die Wurstlänge verursachte nur dann Abweichungen, wenn ihr Wert das 2½-fache des Durchmessers unterschritt. Auch bei Messungen an Würsten der gleichen Art verschiedener Qualität (z.B. Kalbs- und Konsumleberwurst) oder in verschiedenartigen Därmen (Kunst- oder Naturdärmen) wurden keine größeren Streuungen festgestellt (siehe Tabelle I), so daß in den Tabellen II, III und IV für eine Wurstart Messungen an Würsten verschiedener Qualität und auch in verschiedenen Därmen angegeben werden konnten. In diesen Tabellen sind die Ergebnisse für Leberwürste, Blutwürste und Brühwürste (= Fleischwürste) zusammengefaßt und nach Darmarten, Wurstdimensionen, Einbringtemperaturen (t_1) und Brühwassertemperaturen (t_2) geordnet.

Als Brühwurstmasse fand aus wirtschaftlichen Erwägungen häufig Brät, wie es zur Bereitung von Fleischsalaten hergestellt wird, Verwendung.

Nachdem durch Messungen an Würsten beim Brühen genügend Werte ermittelt worden waren, wurden Versuche angestellt, wodurch der Wärmedurchgang von Brühwürsten beim Räuchervorgang ermittelt werden sollte. Da jedoch Räucherarkammern für die Meßvorrichtung verhältnismäßig unzugänglich und im praktischen Betrieb bei der Heißräucherung in kurzen Zeitabständen zum Wenden der Räucherwagen geöffnet werden müssen, konnten diese Versuche keinen Erfolg bringen. Solche Untersuchungen müßten zweckmäßigerweise in einer Versuchsräucherarkammer durchgeführt werden, wo die Versuche ohne Störungen der Außenverhältnisse erfolgen können.

In Abb. 4 sind die Temperaturkurven von Leber-, Blut- und Fleischwurst aufgezeichnet, welche unter gleichen Bedingungen (Größe, Wursthülle, Temperaturverhältnisse) gebrüht wurden. Aus diesem Diagramm ist ersichtlich, wie schnell sich Brühwürste, die bekanntlich viel Wasser enthalten, im Gegensatz zu den fettreichen Leber- und Blutwürsten erwärmen. Bei dem interessehalber mit aufgezeichneten Temperaturabfall, der in dem Augenblick eintrat, als die Würste in kaltes Wasser kamen, wurde die gleiche Tendenz der schnelleren Temperaturänderung von Brühwürsten festgestellt.

Tabelle I

Vergleichsmessung		1			2			3			4		
Wurstart		A	A	A	A	B	C	D	E	F			
Darmart		M	N	Z	Z	Z	Z	Z	N	N			
Temp. Diff. $t_2 - t_1$		60°	60°	60°	80°	80°	80°	80°	60°	60°			
Wurstlänge [mm]		200	205	205	215	230	280	295	260	230			
Durchmesser [mm]		60	60	60	60	60	61	61	59	59			
t_1, t_2		20/80°	20/80°	20/80°	20/80°	20/100°	20/100°	30/90°	15,5/75°	15/75°			
min		0	20	20	20	20	20	20	15,5	15			
1		-	20	20	20	20	20	20	15,5	15			
2		-	20	20	20	20	20	20	15,5	15			
3		-	20	20	20	20	20	20	15,5	15			
4		-	20	20	20	20	20	20	15,5	15			
5		20,5	21	20	20	20	20	20,5	15,5	15			
7		21	22	21,5	21,5	21	21,5	21	16,5	16			
10		22,5	22,5	22	22	23	25	22	17	17			
15		27,5	26	-	-	31	34	26	21	20			
20		34,5	-	35	41	40	44	33,5	31,5	32			
25		45	47	44	52	52	57	44	41,5	41,5			
30		51,5	52	51	61	60	65	56	50	51			
35		58	55	56,5	71	70,5	74	65,5	56,5	58			
40		63	-	64	77	76	79	78	61,5	62			
45		68	70,5	69	82	83	85	84,5	65	64			
50		71	73	71	85	87	87	88,5	68	68			
55		77	74	75	90	91,5	94	91,5	71,5	72			
60		74,5	76	76	92,5	93	95	93	73	73			
65		77	76	76	-	94	96,5	96	74,5	74			
70		77	77	77,5	95	95,5	97	97	75	75			
75		79	78	78,5	97	96	98	98,5	75	75			
80		79,5	79	79	97	96,5	99	98,5	75	75			
85		80	79,5	79,5	97,5	97	98,5	99	75	75			
90		80	79,5	79,5	97,5	97	98,5	99	75	75			

A = Konsumleberwurst
B = Kalbsleberwurst
C = Einfache Blutwurst

D = Thüringer Blutwurst
E = Fleischsalatbrät
F = Polnische Fleischwurst

M = Mitteldarm
N = Naturdarm
Z = Zellophandarm

t_1 = Einbringungstemperatur
 t_2 = Wassertemperatur

Tabelle II

Leberwurst	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temp. Diff. $t_1 - t_2$	60°				70°				80°			
Wurstsorte	A		B	A	A	N	Z	A	A	B	B	B
Darmart	Z		N	Z	Z	N	Z	N	Z	Z	M	Z
Wurstlänge [mm]	120		180	205	135	180	205	280	130	140	190	230
Durchmesser [mm]	26		40	60	25	41	50	59	20	30	55	60
t_1 / t_2	20/80°		20/80°	20/80°	20/90°	21/90°	20/90°	20/90°	20/90°	20/90°	20/90°	20/100°
min	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
0	20		20	20	20	21	20	20	20	20	20	20
1	21,5		20	20	21	21	20	20	27	20	20	20
2	28		-	-	22,5	21,5	20	20	20	22	20	-
3	42,5		22	20	22	22	20	20	54,5	20	20	-
4	-		23	-	40	23	20	20	68	20	20	-
5	63		23,5	20	61	25	21	20	80	42	20	20
7	67		34	21,5	69	30	26	23	81	93	55	21,5
10	74		32	22	81	44	29	23	95	75	26,5	23
15	76,5		60	27	-	62	42	30	99	94	37	40
20	78		66	35	68	72	54	36	100	94	49	40
25	79,5		76	44	68,5	79	65	67		96	52	52
30	80		76	51	90	-	72	65		97	61,5	52
35			78	56,5		85	77	63		99	70,5	70,5
40			-	64		87	81	70		99,5	83,5	76
45			79	69		88	83	74		98	83	83
50			79,5	71		89	84	-		91	87	-
55			80	73		89	84,5	81		92	91	-
60						90	87	82,5		93	95,5	94,5
65							88	83		93	96	93
70							89	85,5		94	96,5	94
75							89,5	86		95	97	95,5
80							90	87		95	97,5	95,5
85								87		96,5	96,5	96,5
90								89		98,5	97	97

keiner der Versuche verwertbar

A: Konsumleberwurst
B: Kalbsleberwurst

M: Mitteldarm
N: Naturdarm

Z: Zellophandarm

t_1 : Einfrierungstemperatur
 t_2 : Wassertemperatur

Fleischwurst	1	2	3	4	5	6	7	8
Temp. Diff. $t_1 - t_2$	60°				70°			
Wurstsorte	F	F	E	E	E	E	F	E
Darmart	Z	N	Z	N	N	N	M	Z
Wurstlänge [mm]	115	180	180	260	145	175	220	240
Durchmesser [mm]	20	40	48	59	30	39	56	62
t_1/t_2	21/80°	20/80°	15/75°	15,5/75°	10/80°	11/80°	10/80°	10/80°
min	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
0	21	20	15	15,5	10	11	10	10
1	40	20	15	-	11	-	10	-
2	60	21	15	-	12	11	10	10
3	68	23	16,5	15,5	20,5	12	-	-
4	75	28	17	15,5	31	15	10	10
5	77	30	19	16,5	40	20	11	10
7	78,5	37,5	24	17	63	28	16	10,5
10	79,5	51	33	21	70	45	19	15
15	80	62	49	31,5	75	-	43	25,5
20		72,5	59	41,5	78	70	56	37
25		76	65	50	-	74	56	46
30		77,5	69	56,5	80	76	62	55
35		79	71	61,5		78	67	-
40		79,5	72,5	65		79	71,5	66
45		80	74	68		79,5	74	70
50			75	-		80	75	73
55				71,5			77	75
60				73			71,5	75,5
65				74			78	72,5
70				74,5			79,5	78
75				75			80	78,5
80								79
85								80
90								

E = Fleischsalatbrät

M = Mitteldarm

Z = Zellophandarm

F = Polnische Fleischwurst

N = Naturdarm

t_1 = Einbringttemperatur
 t_2 = Wasser temperatur

Tabelle IV

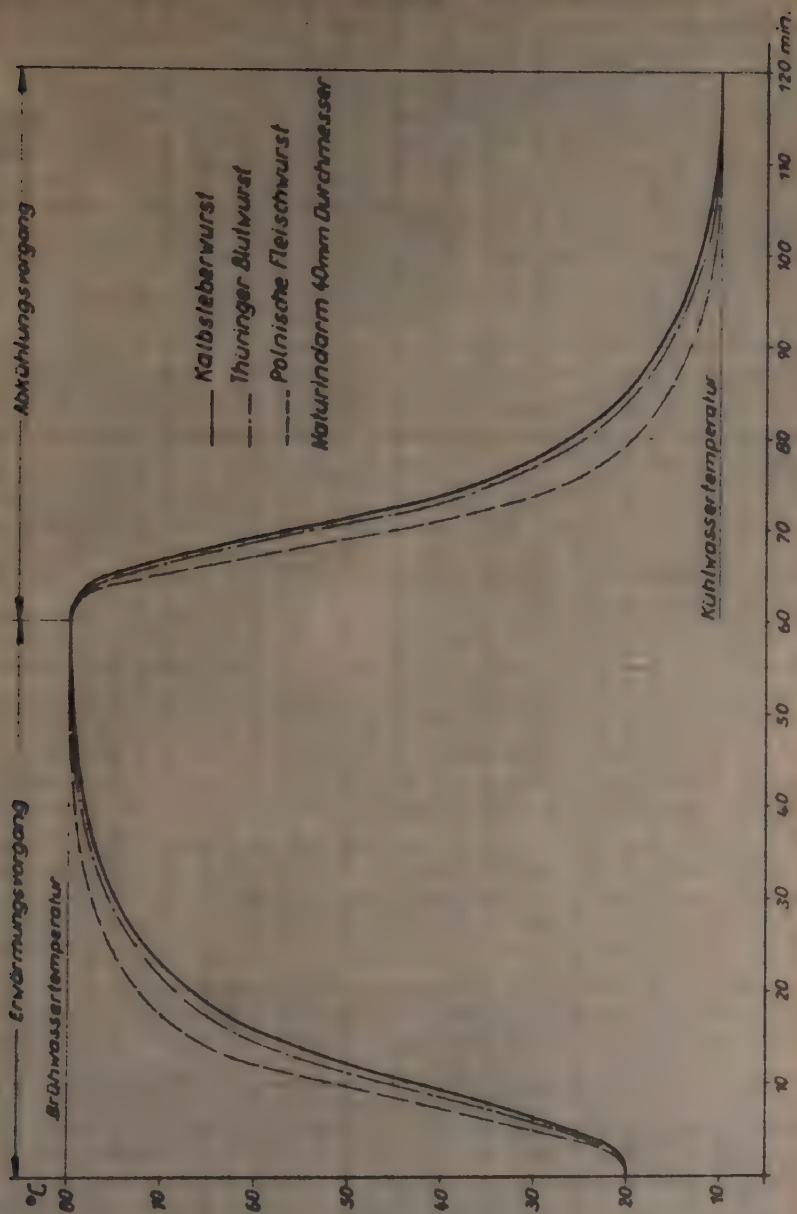


Abb. 4

Auswertung der Ergebnisse

zur Vorausbestimmung von Brühzeiten

Es bestand die Absicht, aufgrund der vorliegenden Meßergebnisse eine mathematische Formel zu entwickeln. Diese sollte den Verlauf der Temperatur im Wurstkern in Abhängigkeit von der Zeit bei gegebenen geometrischen Abmessungen und Stoffwerten angeben. Diese Formel würde ganz allgemein die Vorausbestimmung der zur Erreichung einer gewünschten Temperatur nötigen Brühzeit für jede Wurstart, Wurstgröße und Einbring- sowie Brühwassertemperatur auf rechnerischem Wege ermöglichen. Eine solche Formel ist nur dann sinnvoll, wenn sie in ihrem Wesen den physikalischen Vorgängen bei der Erwärmung entspricht. Es handelt sich um ein Problem der instationären (= nicht stationären) Wärmeleitung, da die Temperaturen in der Wurstmasse im Verlauf des Wärmedurchganges nicht konstant bleiben. B e r g e r (3) hat dieses Problem für den hier in Betracht kommenden Fall des Zylinders behandelt und als Lösung eine unendliche F o u r i e r - R e i h e angegeben. Da für alle üblichen Wurstarten die Länge ein Vielfaches des Durchmessers beträgt, kann der Einfluß der von den Enden eindringenden Wärme vernachlässigt werden.

Für diesen eindimensionalen Fall des unendlich langen Zylinders lautet die Lösung in vereinfachter Schreibweise:

$$t = C_1 \cdot e^{-r_1^2 z} + C_2 \cdot e^{-r_2^2 z} + \dots$$

Hierin sind

t = die Temperaturdifferenz im Wurstkern gegenüber der Brühwassertemperatur nach

z = der dazugehörigen Zeit

$C_1, C_2 \dots$ = Werte, die von den zeitlichen Anfangsbedingungen (Temperatur des Brühwassers, Temperatur des Wurstgutes) abhängen und nach B a e h r (2) bei jeder einzelnen Versuchsbedingung konstante Werte darstellen,

$r_1, r_2 \dots$ = konstante Werte, die von den Stoffwerten (Wärmeleitfähigkeit, Wärmeübergangszahl, spezifische Wärme, spezifisches Gewicht) und vom Durchmesser bestimmt werden,

e = Basis der natürlichen Logarithmen = 2,71828 ...

Die Beziehungen, in denen die Konstanten $C_1, C_2 \dots$ und $r_1, r_2 \dots$ zu den zeitlichen Anfangsbedingungen, zu den Stoffwerten und zum Durchmesser stehen, sind verhältnismäßig verwickelt; sie sind aus der Veröffentlichung von Baehre (2) ersichtlich.

Da die Ansprüche an die Genauigkeit der Berechnungsformel nicht sehr hoch waren, wurden die Untersuchungen auf die ersten beiden Glieder der Reihenentwicklung beschränkt. Für die meisten Stoffwerte waren keine zuverlässigen Zahlenwerte zu ermitteln; deshalb wurde versucht, aufgrund der aufgenommenen Kurven diese Werte zu bestimmen. Zur Ermittlung der vier Unbekannten C_1, C_2, r_1, r_2 sind vier mathematische Gleichungen nötig, welche unter Verwendung von vier Meßwerten aufgestellt wurden. Die hierbei errechneten Werte von C_1, C_2, r_1, r_2 waren zum Teil komplexe Zahlen; dies läßt den Schluß zu, daß die bei der Ableitung der verwendeten Formel getroffenen Voraussetzungen bei dem vorliegenden Problem nicht erfüllt waren. Die Ursache wird darin vermutet, daß sich einige der Werte, die in der Formel als konstant angenommen waren, während des Erwärmungsvorganges geändert haben. Es liegt keine sprunghafte Änderung der Stoffwerte vor, da für diesen Fall eine Knickstelle im Kurvenverlauf auftreten müßte, was jedoch nicht der Fall war.

Es ist leicht verständlich, daß beim Erwärmen von organischen Stoffen, wozu das heterogene Würstgut zählt, materielle Umwandlungen vor sich gehen, die eine Veränderung der Stoffwerte zur Folge haben können. So kann bei fetten Würsten in gewissen Grenzen durch Entmischungsvorgänge das Fett, bei Brühwürsten das hineingekutterte Wasser frei werden und sich unter dem Darm ablagern. Diese Vorgänge sind vermutlich die Ursache für Veränderungen des spezifischen Gewichtes, der spezifischen Wärme, der Wärmeleitzahl und der Wärmeübergangszahl, so daß diese Stoffwerte der Wurstmasse von der Temperatur abhängig werden. Auch der Durchmesser vergrößert sich mit Zunahme der Temperatur infolge von physikalischer Wärmeausdehnung und von Quellungsvorgängen.

Zweifelloos ist es möglich, eine mathematische Formel auch für den Fall zu entwickeln, daß die Stoffwerte oder der Durchmesser von der Temperatur abhängig sind. Versuche, eine solche sehr verwickelte mathematische Lösung zu finden, würden den Rahmen dieser Arbeit überschreiten. Eine solche Formel hätte nur dann einen wirklichen Wert, wenn man auch in der Praxis damit rechnen könnte, was aber bei der Kompliziertheit kaum möglich sein wird.

Um ein einfaches Verfahren zur Vorausbestimmung der zur Erreichung einer gewünschten Kerntemperatur nötigen Brühzeit zu ermöglichen, wurden aufgrund der angestellten Messungen drei Diagramme aufgezeichnet, die bei konstanten Differenzen zwischen den Brühwasser- und Anfangstemperaturen des Würstgutes (Ein-

bringtemperaturen) den Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Zeit für ein bestimmte Wurstart, und zwar Leberwurst, angegeben.

Hierfür konnten die Tabellen II, III und IV verwendet werden, die eine übersichtliche Zusammenstellung der Meßergebnisse enthalten, welche nach folgenden Punkten geordnet sind:

1. Wurstart
2. Darmart
3. Wurstsorte
4. Wurstdicke und -länge
5. Anfangstemperatur = Einbringtemp. = t_1
6. Brühwassertemperatur = t_2
7. Temperaturdifferenz $t_2 - t_1$

Aufgrund der Messungen wurde festgestellt, daß die Werte der Einbring- und Brühwassertemperatur nur in ihrer Differenz $t_2 - t_1$ den Wärmeverlauf bestimmten, nicht aber in ihren absoluten Größen.

Für eine vollständige Auswertung der Ergebnisse müßte nun zweckmäßigerweise für jede Wurstart und für jeden Wert $t_2 - t_1$ die Temperaturzunahme der Wurst (= Temperatur über der Einbringtemperatur) über der Zeit mit dem Durchmesser (Zeichen $\varnothing$) als Parameter aufgetragen werden. Dies wurde für das Beispiel Leberwurst in dem praktisch wichtigen Bereich für die Werte $t_2 - t_1 = 60$ bis 80°C in Abstufungen von 10°C durchgeführt. Das entspricht beispielsweise einer Erwärmung von 20° auf 80° bis 100°C (siehe hierzu die Tafeln A bis C).

Für die Ausgangsverhältnisse der Tabellen II bis IV wurden die Punkte 2 bis 7 variiert, wobei für jede Temperaturdifferenz 4 Durchmesser gewählt wurden. Diese Differenz (zwischen Anfangstemperatur der Wurst und Brühwassertemperatur) war nicht in allen Fällen genau gleich dem angestrebten Wert. Die gesuchten Kurven konnten gegebenenfalls jedoch durch geringfügige Dehnung oder Zusammenziehung der vorliegenden mit guter Näherung gefunden werden. Ferner wurde gewünscht, auch für die fehlenden Durchmesser den Temperaturverlauf angeben zu können. Hierzu diente die Interpolationstafel (für Tafel A = Abb. 5), in der für denselben Wert $t_2 - t_1$ über dem Durchmesser die Temperaturzunahme für alle vorliegenden Meßpunkte aufgetragen war. Durch Verbinden derjenigen Punkte, die der gleichen Brühdauer zugeordnet sind, entstand eine Schar von Interpolationskurven, denen auch für die nicht gemessenen Wurstdurchmesser mit genügender Genauigkeit der Temperaturverlauf entnommen werden konnte, da ein unstetiger oder wellenförmiger Kurvenverlauf hier aus-

geschlossen erscheint. Dies geschah in einfacher Weise dadurch, daß für die noch fehlenden Durchmesser mit glatten oder halben Zehnerzahlen die Temperaturzunahme in das ursprüngliche Diagramm (Tafel A) übertragen wurde. Die entstandene Kurvenschar gestattete nunmehr, die Temperatur im Wurstinne zu irgend einem Zeitpunkt für jeden beliebigen Durchmesser abzulesen, da die Kurven nun so dicht lagen, daß auch Zwischenwerte sehr gut abgeschätzt werden konnten. In analoger Weise, nämlich unter Verwendung von Interpolationskurven, wurden die Tafeln B und C für 70 und 80° C Temperaturdifferenz ermittelt.

Das Beispiel Leberwurst wurde deshalb gewählt, weil ihre relativ fettreiche Masse die geringste Wärmeleitfähigkeit der gemessenen Wurstarten aufweist und somit die Diagramme bei ihrer Anwendung auf andere Wurstarten etwas zu kleine, also auf der sicheren Seite liegende Temperaturwerte bzw. zu große Werte für die Brühdauer liefern.

Bei Blutwürsten haben sich diese Unterschiede als so gering erwiesen, daß sie praktisch nicht ins Gewicht fallen. Bei Fleischwürsten erhält man eine gute Näherung dann, wenn man die Dicke um etwa 12 % geringer annimmt.

Anwendungsbeispiele:

Die Handhabung der Diagramme (Tafel A, B, C) sei anhand dreier Anwendungsbeispiele erläutert.

1. Beispiel:

Gegeben sei eine Leberwurst mit einem Durchmesser von 55 mm und einer Länge von 190 mm. Die Wurst werde mit einer Temperatur von 25° C in einen Brühkessel von 95° C eingebracht. Gefragt ist, wie lange die Wurst im Wasser verbleiben muß, um im Kern eine Temperatur von 85° C zu erreichen.

Die Differenz zwischen Wurstanfangs- und Brühwassertemperatur beträgt 70° C. Anwendung findet daher die Tafel B. Die angestrebte Temperatur über der Einbringtemperatur beträgt also $85 - 25 = 60^{\circ} \text{ C}$. Bei 60° C gibt die Kurve für den Durchmesser 55 mm eine Zeit von 46 Min. an.

2. Beispiel:

Eine Fleischwurst mit dem Durchmesser von 40 mm und der Anfangstemperatur von 20° C werde in ein Wasserbad von 80° C gebracht. Gesucht sei die Zeit, nach der die Wurst im Innern auf 70° C erwärmt ist.

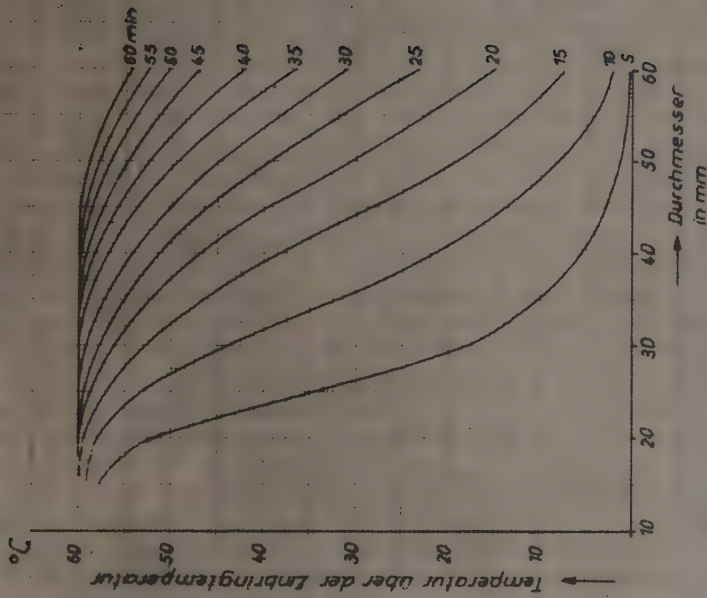
Da es sich hier um Fleischwurst handelt, kann für diesen Fall die Leberwurstkurve für den um 12 % verminderten Durchmesserwert (ca. 35 mm) angewendet werden. Die Temperaturdifferenz beträgt 60°C , deshalb wird die Tafel A verwendet. Die Endtemperatur der Wurst liegt bei diesem Beispiel 50°C über der Einbringtemperatur. Für den Durchmesser 35 mm ergibt sich hierbei ein Wert von 12,5 Min.

3. Beispiel:

Eine Blutwurst (50 mm dick) von 24°C soll in einem Kessel mit konstanter Wassertemperatur (98°C) auf 72°C erwärmt werden.

Die Differenz zwischen Einbring- und Wassertemperatur beträgt somit 74°C . Da hierfür kein Diagramm vorliegt, werden die Zeiten aus den Diagrammen für 70°C und 80°C ermittelt. Die abgelesenen Werte für $72 - 24 = 48^{\circ}\text{C}$ (= 24 und 27 Min.) werden interpoliert. Man erhält damit als Endresultat eine Zeit von 25 Min.

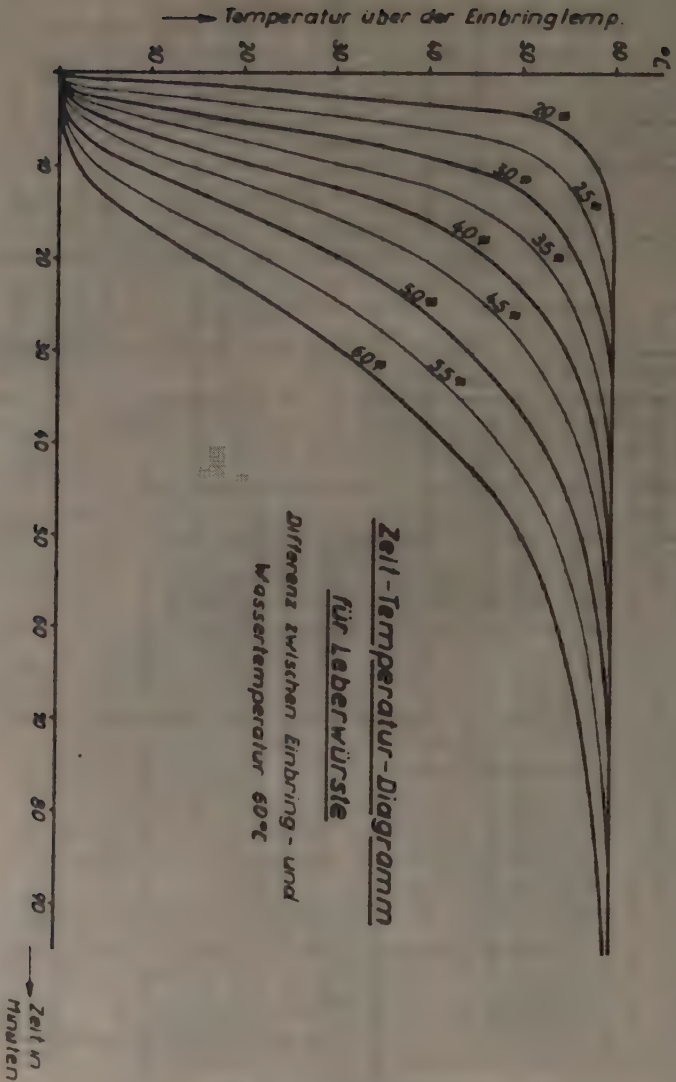
Falls für ein Anwendungsbeispiel die Wassertemperatur während des Brühprozesses nicht konstant bleibt, kann näherungsweise mit einem Mittelwert gerechnet werden.



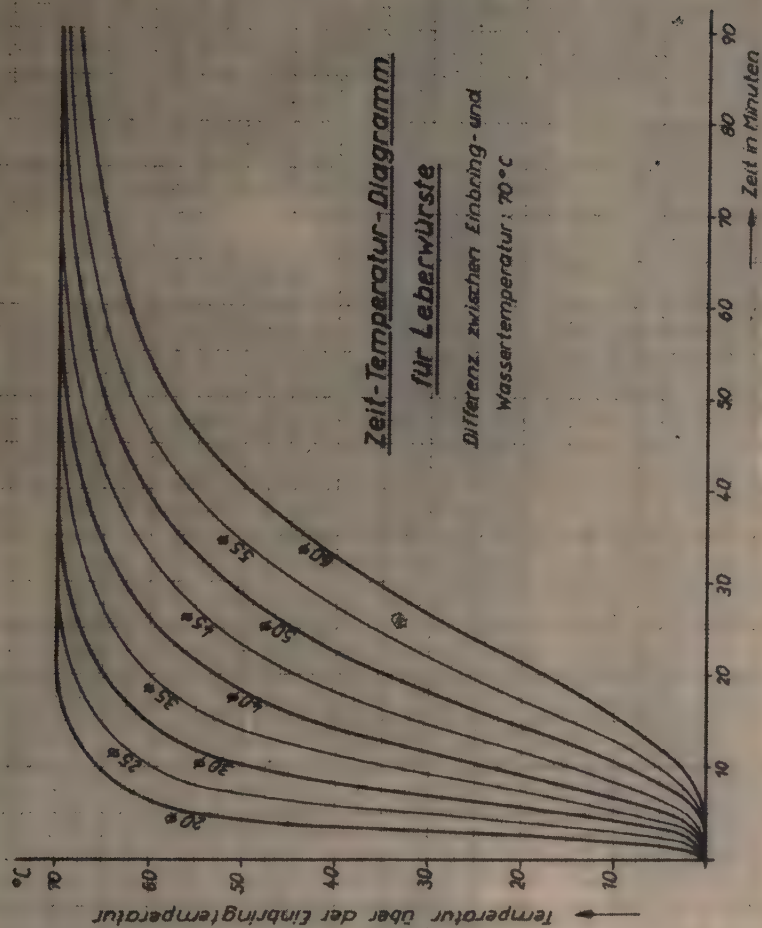
Interpolationskurven

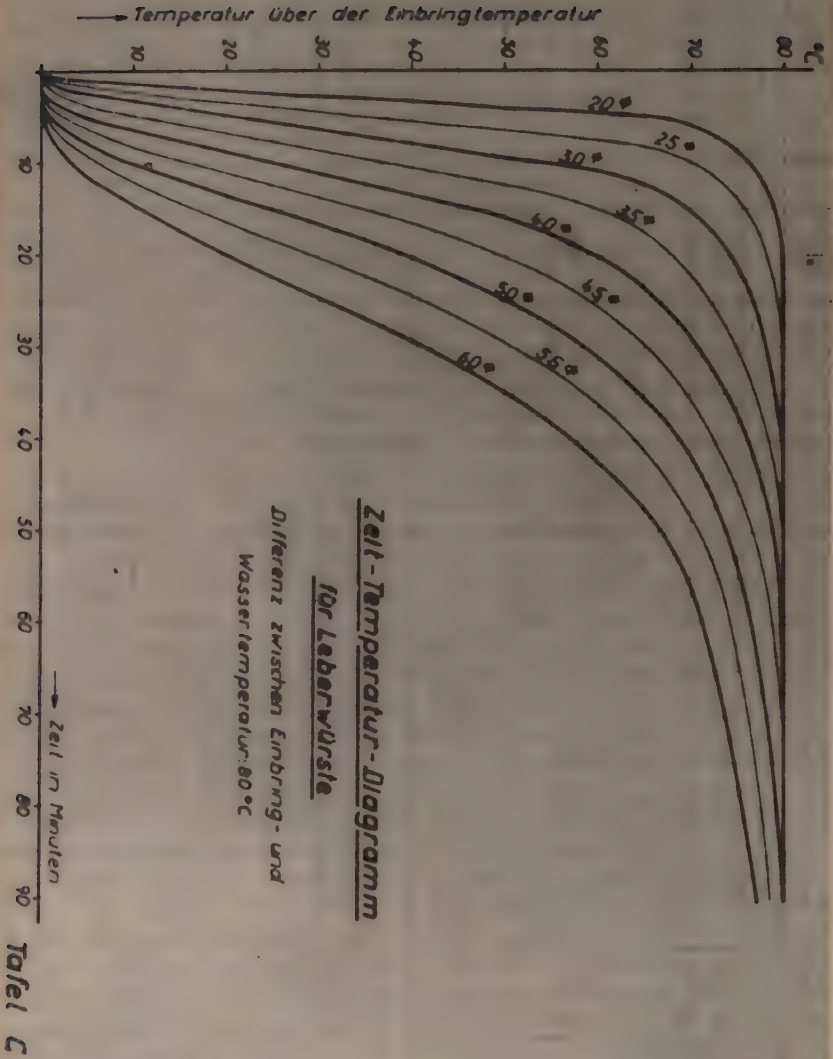
zu Tafel A

Abb. 5



Tafel A





F o l g e r u n g e n

Mit Hilfe der Tafeln A, B und C ist die Möglichkeit gegeben, für die Mehrzahl der üblichen Brüh- und Kochwürste den Wärmeanstieg voraus zu bestimmen und auf diese Weise die Brühzeit von vornherein derart zu bemessen, daß sowohl die zum Garkochen des Wurstgutes, als auch die zum Abtöten von Keimen nötigen Hitzegrade erreicht werden. Andererseits ist die Möglichkeit gegeben, zu lange Kochzeiten bzw. zu hohe Brühtemperaturen, die aus Sicherheitsgründen ohne vorherige Berechnungsmöglichkeit manchmal angebracht wären, die Wurstqualität aber beeinträchtigen könnten, zu vermeiden.

Wie sich aus den Diagrammen ermitteln läßt, erreichen Kochwürste mit einem Durchmesser von 60 mm, die in der Praxis gewöhnlich mit ca. 95° C gebrüht werden, diese Temperatur im Innern nahezu erst nach knapp zwei Stunden. Normalerweise ist eine so hohe Erwärmung im Wurstkern jedoch nicht nötig. Temperaturen von 85° C, wie sie bei der Hoherhitzung der Milch als zuverlässig für die Abtötung von Tuberkelbakterien angesehen werden, werden in dem oben erwähnten Fall bereits nach spätestens 55 Minuten erreicht.

Bei Brühwürsten, deren Brühwassertemperatur aus fertigungstechnischen Gründen höchstens 80° C betragen darf, können selbstverständlich Temperaturen, wie sie bei der Hoherhitzung der Milch angewendet werden, nicht gefordert werden. Hitzegrade von 71 - 74° C, die dem Kurzzeit-Erhitzungsverfahren bei der Milchpasteurisierung entsprechen, werden bei 60 mm dicken Brühwürsten durchschnittlich nach 70 Minuten erreicht, wenn die Brühwassertemperatur 75° C beträgt.

Der Dauererhitzung der Milch analoge Hitzegrade von 62 - 65° C können bei diesen Würsten im Kern jedoch schon nach 45 - 50 Minuten gemessen werden.

Für geringere Wurstdurchmesser verringern sich die angegebenen Werte entsprechend den Tafeln A - C.

IV. Zusammenfassung

=====

Von der Erkenntnis ausgehend, daß zu geringe Brühtemperaturen oder -zeiten bei Wurstwaren wirtschaftliche Verluste nach sich ziehen und in hygienischer Hinsicht von Bedeutung sind, wurde ein Verfahren entwickelt, welches es ermöglicht, unter Verwendung von Widerstandsthermometern den Temperaturverlauf im Mittelpunkt von Würsten, also an der Stelle, die beim Brühen am langsamsten erwärmt wird, zu messen. Mit dieser Methode wurden Reihenmessungen an Leber-, Blut- und Brühwürsten durchgeführt. Die dabei ermittelten Versuchsergebnisse sollten zur Aufstellung einer mathematischen Formel dienen, welche eine Vorausbestimmung der für gewünschte Innentemperaturen erforderlichen Brühzeit ermöglicht. Dieser Versuch mußte aufgegeben werden, da sich beim Brühen der Würste, wie rechnerisch nachgewiesen wurde, die physikalischen Stoffwerte der Wurstmasse ändern und daher die in der Literatur angegebenen Formeln für Erwärmungsvorgänge fester Körper keine Anwendung finden können. Da der mathematisch-exakte Weg also ausschied, wurde das Problem auf graphische Weise gelöst, wozu drei Diagramme angefertigt wurden. Unter Verwendung dieser Kurven wurde festgestellt, daß im Wurstinnern die eigentliche Brühwassertemperatur erst verhältnismäßig spät eintritt, daß jedoch Temperaturen, wie sie zur Abtötung von Tuberkelbakterien erforderlich sind, schon früher erreicht werden, zum Beispiel bei 60 mm dicken Kochwürsten gewöhnlich nach ca. 55 Minuten.

V. S c h l u ß b e m e r k u n g e n

=====

Die gestellte Aufgabe, die ein Problem der tierärztlichen Nahrungsmittelkunde behandelt, konnte nur dadurch gelöst werden, daß fremde Wissensgebiete, wie die Elektrotechnik (elektrische Meßtechnik), die Lehre von der Wärmeübertragung und die Mathematik zu den Untersuchungen herangezogen wurden.

Vielleicht könnte die vorliegende Arbeit eine Anregung dazu geben, derartige Erwärmungsvorgänge auch an weiteren Lebensmitteln zu untersuchen, zum Beispiel bei der Räucherung von Fleisch- und Fischwaren.

VI. L i t e r a t u r
=====

1. B a c h m a n n, H. : Tafeln über Abkühlungsvorgänge einfacher Körper.
Verlag Julius Springer, Berlin 1938.
2. B a e h r, H. D. : Die Berechnung der Kühldauer bei ein- und mehrdimensionalem Wärmefluß.
Kältetechnik, 1953, S. 255.
3. B e r g e r, F. : Über den Temperaturverlauf in einem Zylinder von endlicher Länge beim Abkühlen und Erwärmen.
Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik, 11, 45, 1931.
4. C o r e t t i, K. : Läßt sich durch überschwingende Temperaturen eine wirksame Sterilisation von Dosenfleisch erzielen?
Dissertation, Gießen 1949.
5. G r ö b e r, H. und Die Grundgesetze der Wärmeübertragung.
E r k, S. : Verlag Julius Springer, Berlin 1935.
6. K n o b l a u c h, O. und Anleitung zu genauen technischen Temperaturmessungen.
H u n c k y, K. : Verlag von R. Oldenbourg, München und Berlin 1926.
7. L i e n e w e g, F. : Temperaturmessung.
Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, Leipzig 1950.
8. L i n d o r f, H. : Technische Temperaturmessungen.
Verlag W. Girardet, Essen 1952.
9. R i e v e l, H. : Wärmegang in Fleischkonserven während der fabriktüblichen Sterilisierung.
Die Fleischwirtschaft, 21, H. 18, 11, 1941.
10. R i e v e l, H. und Untersuchungen über die Brauchbarkeit eines holländischen Pasteurisierungsverfahrens zur Abtötung gesundheitsschädlicher Keime in Enteneiern.
R e u t e r, H. : Der Lebensmitteltierarzt, 1, 113, 1950.

11. R i e v e l, H. : Die Abkürzung der Kochzeiten für Fleischkonserven durch rotationsförmige Bewegung der Dosen während der Sterilisierung und gleichzeitige Anwendung überschwingender Temperaturen.
Die Fleischwirtschaft, 1951, S. 73.
12. R u b n e r, M. : Über das Eindringen der Wärme in feste Objekte und Organteile tierischer Herkunft.
Archiv für Hygiene, 55, 225, 1906.
13. T a m m, W. : Die Kühlung von Fleisch.
Zeitschrift für die gesamte Kälteindustrie, 37, 86, 1930.

Lebenslauf

Am 11. Mai 1929 wurde ich in Kiel als Sohn des Ingenieurs Hans Memmel und seiner Ehefrau Franziska, geb. Reischl, geboren. Meine Schulausbildung genoß ich in Berlin an der 14. Volksschule und an der Richthofen-Oberschule des Bezirks Reinickendorf sowie in Mülheim a.d.Ruhr am Städtischen Gymnasium, wo ich im Frühjahr 1948 die Reifeprüfung ablegte.

Vom Sommersemester 1949 bis zum Sommersemester 1953 studierte ich Veterinär-Medizin an der Justus Liebig-Hochschule in Gießen, wo ich im Anschluß an das Wintersemester 1950/51 die Tierärztliche Vorprüfung und am 3. Februar 1954 die Tierärztliche Prüfung bestand.

Zur Zeit leiste ich die Praktikantenzeit bei Herrn Dr. Leistner in Roththalmünster/Niederbayern ab.

Es ist mir ein Bedürfnis, Herrn Professor Dr. H. K e l l e r für die Anregungen zu danken, die er mir bei der Durchführung dieser Arbeit gegeben hat.

Besonders fühle ich mich Herrn Dr. jur. W. M ö h l e n b e c k, Mülheim an der Ruhr, verpflichtet, der mir die Durchführung meiner Untersuchungen in seiner Fleischwarenfabrik ermöglichte und genügend Versuchsmaterial zur Verfügung stellte.

Ich danke auch Herrn Diplom-Ingenieur H. R. E g g e r s, Heiligenhaus, für die Unterstützung bei der Eichung meines Meßgerätes in einem Laboratorium der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft. Auch möchte ich an dieser Stelle Herrn Diplom-Mathematiker Dr. rer. nat. P. S c h m i t z, Mülheim an der Ruhr, für einige mathematische Hinweise meinen Dank erweisen.

